

## SKŁAD CHEMICZNY WODY W ZATOPIONEJ ODKRYWCE GIPSU „GACKI” (NIECKA NIDZIAŃSKA)

### CHEMISTRY OF WATER IN THE GYPSUM PIT LAKE „GACKI” (NIDA BASIN, SE POLAND)

**Małgorzata Malata, Jacek Motyka, Kajetan d’Obyrn, Adam Postawa - AGH w Krakowie, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej**

*Eksploatacja złoża gipsu „Gacki” w dolinie Nidy (region świętokrzyski) metodą odkrywkową trwała od 1955 do 1985 roku. Kopalnia składała się z trzech odkrywek o różnej wielkości, od 0,8 do 19,88 ha. Po zaprzestaniu eksploatacji podjęto decyzję o rekultywacji w kierunku wodnym i nastąpiło zatopienie odkrywek do naturalnego poziomu wód podziemnych. Powstał w ten sposób zespół trzech akwenów o różnej głębokości. W kwietniu 2008 roku w największym akwenu o głębokości 12 m wykonano badania właściwości fizycznych i składu chemicznego wody w jego profilu. W terenie zmierzono przewodność elektrolityczną właściwą (PEW), temperaturę i pH wody na dziewięciu głębokościach zbiornika, począwszy od jego powierzchni. Stwierdzono, że temperatura i pH zmniejszają się wraz z głębokością, a PEW i stężenie makroskładników i większości badanych mikroelementów jest prawie wyrównane w profilu akwenu. Mineralizacja ogólna wody sięga około 2100 mg/dm<sup>3</sup> i jest to woda typu Ca-SO<sub>4</sub>, co wynika z charakteru skał otaczających (gipsów).*

**Słowa kluczowe:** zbiornik poeksploacyjny, gips, Gacki, niecka nidziańska

*Exploitation of the „Gacki” gypsum deposit in the Nida valley (Świętokrzyskie region, SE Poland), by the opencast method lasted from 1955 till 1985. The mine consisted of three open pits of various sizes, from 0.8 to 19.88 ha. After the exploitation ceased, a decision was made to recultivate the area in order to recreate the natural groundwater levels. In this way three artificial lakes of different depths were formed. In April 2008, the largest lake, with a depth of 12 m, was tested and the chemical properties of water in the vertical profile was investigated. The field measurements of the electrolytic conductivity (CEC), temperature and pH of the water at nine depths levels, starting from its surface were made. It has been found that the temperature and pH decrease with depth and CEC and the concentration of macroelements and most of the examined microelements are almost uniform in the water profile. The total dissolved solids (TDS) reaches about 2100 mg/dm<sup>3</sup> and it is Ca-SO<sub>4</sub> type water, which results from the nature of the surrounding rocks (gypsum).*

**Keywords:** pit lake, gypsum, Gacki, Nida basin

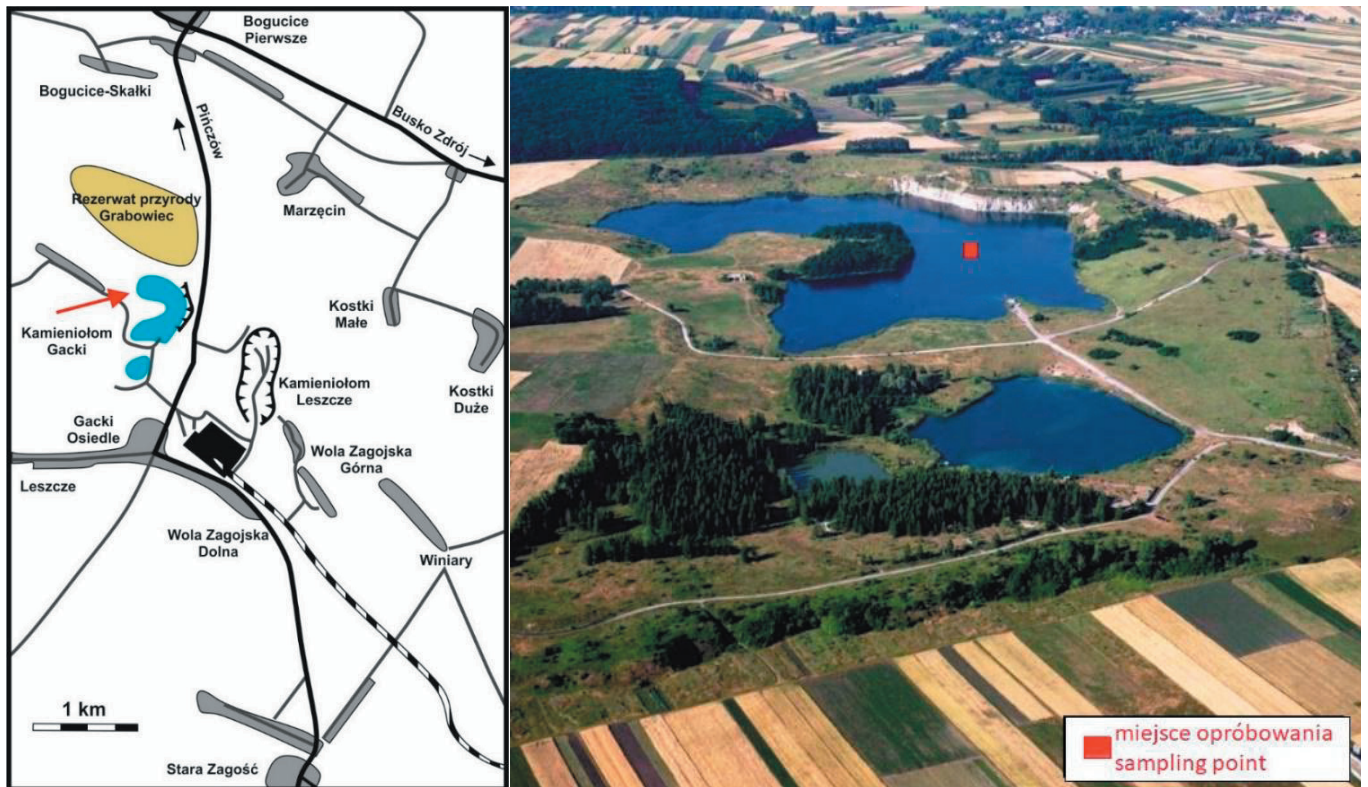
## WPROWADZENIE

Zbiorniki wodne w kopalniach odkrywkowych i kamieniołomach, w których zakończono eksploatację i zrehabilitowano w kierunku wodnym (ang. pit-lakes), zajmują odrębne miejsce w hydrogeologii górniczej [3]. W Polsce powszechnie spotyka się tego typu zbiorniki, a ważniejsze z nich opisał Żurek [9]. Praktyczne problemy związane ze zbiornikami poeksploacyjnymi w odkrywkach dotyczą przede wszystkim jakości wód, które się w nich gromadzą. Można wymienić trzy podstawowe czynniki, które o tym decydują: skład mineralny skał wypełnionych wodą, naturalne procesy geochemiczne zachodzące pod wpływem drenażu górniczego, wpływ ewentualnych ognisk zanieczyszczeń.

Rozpuszczalność składników skał otaczających ma dominujący wpływ na skład chemiczny wody w wyrobisku pogórnym wtedy, gdy wyżej wspomniane procesy geochemiczne nie zachodzą i nie uwidacznia się wpływ ognisk zanieczyszczeń.

Procesy geochemiczne, z których najbardziej powszechnym jest wietrzenie siarczków żelaza, zawartych w eksploatowanej kopalni (np. węgiel, rudy metali) prowadzą do tworzenia się łatwo rozpuszczalnych minerałów, co ma zasadniczy wpływ na skład chemiczny wody wypełniającej odkrywkowe wyrobisko poeksploacyjne [3]. Niektóre odkrywki są wykorzystywane jako miejsca lokowania różnych odpadów albo też ich odwadnianie i związane z tym obniżenie zwierciadła wód podziemnych uruchamia migrację zanieczyszczeń do odkrywki. W obu tych przypadkach skład chemiczny wody w wyrobisku może być znacznie inny, niżby to wynikało ze składu mineralnego skał otaczających [2, 6].

Obszar badań obejmuje teren pogórnicy o powierzchni 84 ha, pozostały po działalności kopalni „Gacki”, należącej do Zakładu Przemysłu Gipsowego „Dolina Nidy” w Gackach (gmina Pińczów, województwo świętokrzyskie). Eksploatacja złoża gipsu „Gacki – Krzyżanowice” zakończyła się w roku 1985 i spowodowała szereg zmian w środowisku przyrodniczym



Rys. 1. Lokalizacja zbiorników wodnych „Gacki”  
Fig. 1. Location of the „Gacki” pit-lakes

w aspekcie krajobrazowym i ekologicznym. W wyniku prac rekultywacyjnych zatopiono trzy wyrobiska poeksploatacyjne gipsów, tym samym powstały trzy sztuczne zbiorniki o powierzchniach: W1 – Podkowa 19,88 ha, W2 - Pompa 4,88 ha i W3 - 0,8 ha. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań składu chemicznego wody w profilu zbiornika wodnego W1 – Podkowa w Gackach w zatopionej odkrywce gipsu „Gacki”.

## BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Gipsy w Gackach należą do kompleksu skał budujących nieckę nidziańską w południowym obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich, w północno-zachodniej części jednostki tektonicznej drugiego rzędu, tzw. depresji soleckiej (rys. 2). W podłożu tej struktury występują utwory kredy górnej, reprezentowane głównie przez margle, a podrzędnie przez opoki i wapienie. Utwory górnej kredy nie zostały przewiercone i w związku z tym ich miąższość nie jest znana.

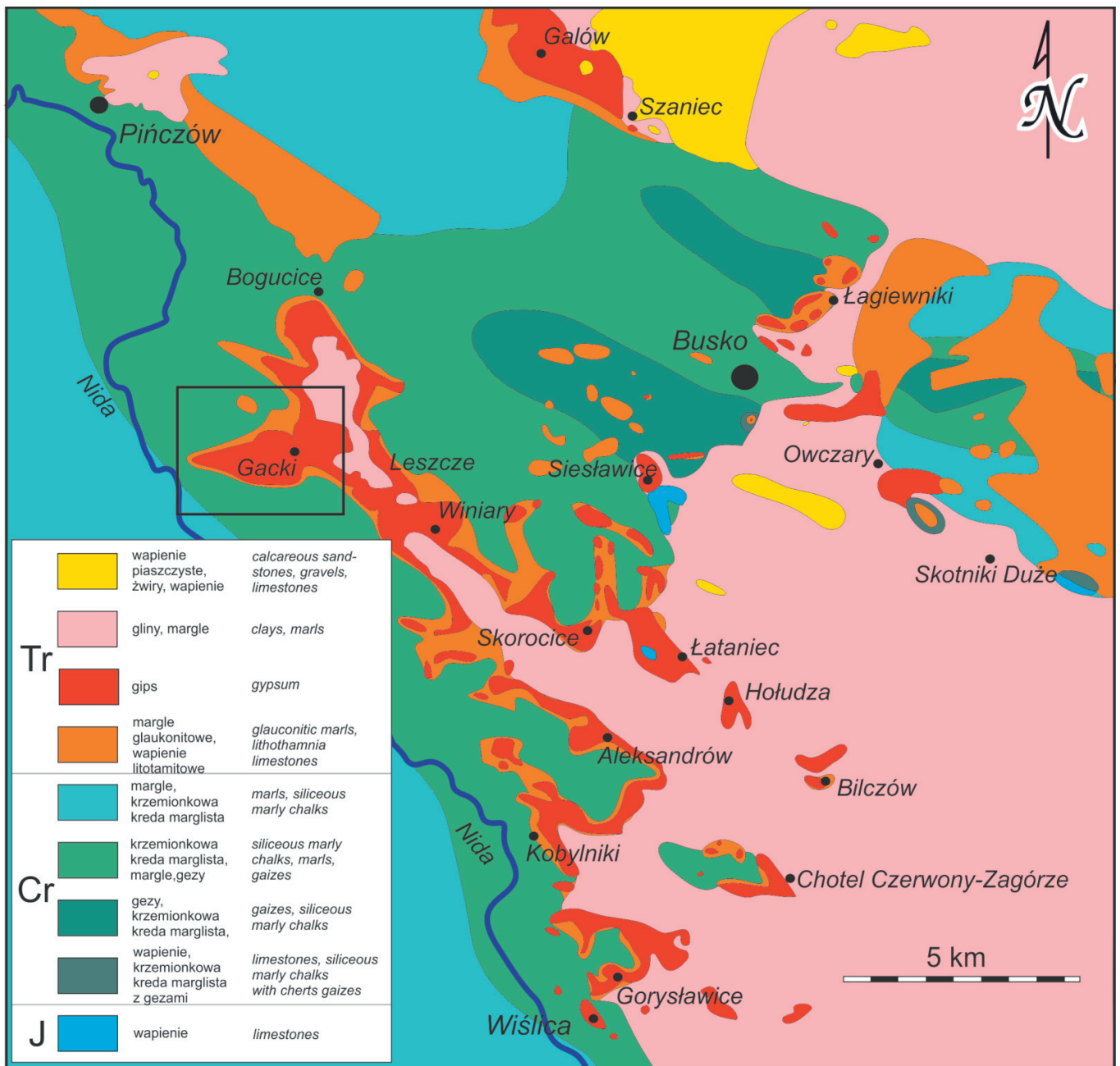
Profil utworów trzeciorzędowych w rejonie odkrywki „Gacki” zaczyna się prawdopodobnie od margli kredowatych, które w niektórych miejscach nie występują. Nad nimi zalegają wapienie litotamniowe, lokalnie piaszczyste lub margliste o miąższości dochodzącej do 30 m. Wyższym ogniwem utworów trzeciorzędowych są warstwy baranowskie: ility, margle i piaski glaukonitowe, które miejscami zostały wyerodowane. Ich miąższość w rejonie omawianego złoża dochodzi przypuszczalnie do kilku metrów. Następnym, wyższym ogniwem utworów trzeciorzędowych jest seria gipsowa, której miąższość dochodzi do 40 m (Nicpoń, 1991). W tej serii można wyróżnić trzy zasadnicze kompleksy: selenity, gipsy grubokrystaliczne (tzw. „jaskółcze ogony”) o miąższości dochodzącej do 6 m (fot. 1A), gips grubokrystaliczny, zbudowany z kryształów o wielkości od kilku do kilkunastu centymetrów oraz gipsy

zbitę, przechodzące ku górze w gipsy płytowe i łupkowe (fot. 1B). Na utworach trzeciorzędowych leżą czwartorzędowe piaski, lessy i gliny zwałowe. W rejonie odkrywki „Gacki” gipsy są pozbawione nadkładu i wychodzą na powierzchnię terenu.

Tektonika złoża „Leszcze” jest stosunkowo prosta. Utwory trzeciorzędowe, wśród których występują gipsy, wypełniają nieckę uformowaną w podłożu, zbudowaną ze skał kredowych, tzw. depresję solecką. Powierzchnia stropu tych skał ma charakter erozyjny i dlatego jest urozmaicona, co przenosi się bezpośrednio na kształt powierzchni spągu utworów trzeciorzędowych i samych gipsów, wykazującej spore deniwelacje. W rejonie odkrywki „Gacki” nie stwierdzono występowania deformacji nieciągłych.

W rejonie odkrywki „Gacki” występują dwa piętra wodonośne: trzeciorzędowe i kredowe. Wodonośne piętro trzeciorzędowe jest trójdzielne. W górnej jego części (poziom nadgipsowy) lokalnie występują klastyczne, piaszczysto-żwirowe utwory sarmatu, które mają wysoką przepuszczalność i zasobność wodną, ale ze względu na małą miąższość i nieciągłość występowania mają niewielki wpływ na kształtowanie warunków przepływu wody podziemnej w otoczeniu. Środkową część wodonośnego piętra trzeciorzędowego budują gipsy (poziom gipsowy), wśród których występują przerosty marglisto-ilaste. Tworzą one zbiorniki wód podziemnych typu szczelinowego. Tego rodzaju zbiorniki charakteryzują się bardzo dużą niejednorodnością właściwości hydrogeologicznych. Ukształtowanie naturalnego zwierciadła wód podziemnych w serii gipsowej nie zostało rozpoznane. Na podstawie informacji uzyskanych od mieszkańców i położenia źródeł Nicpoń [7] doszedł do wniosku, że pierwotny poziom zwierciadła wód podziemnych w serii gipsowej układał się mniej więcej na rzędnej około 240 - 250 m n.p.m. Dolną część wodonośnego piętra trzeciorzędowego budują margle i piaski warstw baranowskich, wapienie litotamniowe i zalegające pod nimi margle kredowate. Nie ma danych o ciśnieniach hydrodynamicznych w tych skałach i ich właściwościach hydrogeologicznych.

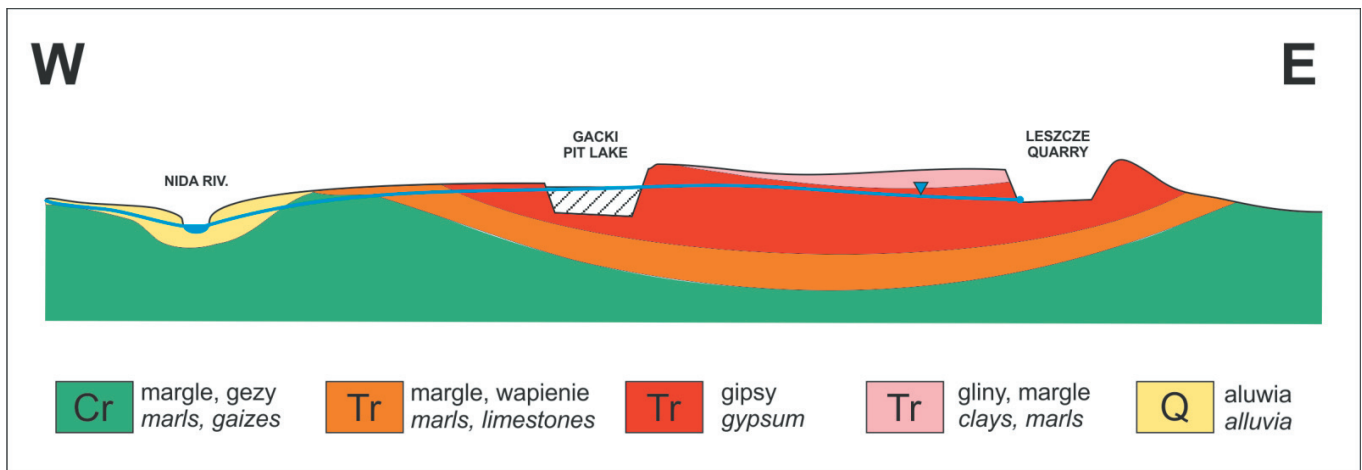




Rys. 2. Mapa geologiczna doliny Nidy [1 zmodyfikowane]  
 Fig. 2. Geological map of the Nida basin area [after 1, modified]



Fot. 1 A, B. Zdjęcia formacji gipsowej dawnej kopalni gipsu w Gackach  
 Fot. 1 A, B. Photos of the gypsum deposits the former gypsum mine in Gacki



Rys. 3. Schemat warunków hydrogeologicznych w rejonie zalanego kamieniołomu „Gacki”

Fig. 3. Sketch of groundwater conditions in the area of the flooded „Gacki” quarry

Wodonośne piętro kredowe występuje w podłożu utworów trzeciorzędowych. Tworzą go margle, opoki i wapienie, a więc jest to zbiornik typu szczelinowego, ewentualnie szczelinowo-krasowego. Wysokość ciśnień hydrodynamicznych w tych skałach oraz ich właściwości hydrogeologiczne nie zostały rozpoznane.

Wskutek inwersji rzeźby powierzchni terenu gipsy tworzą kulminację morfologiczną w formie wydłużonego grzbietu o kierunku NW – SE (rys. 2). Taki typ rzeźby sprawia, że są one zasilane wyłącznie poprzez infiltrację opadów atmosferycznych. W warunkach naturalnych piętra te były drenowane głównie przez odpływ do doliny Nidy oraz źródła, a w pewnym stopniu także przez pobór wody w studniach gospodarskich. Obecnie głównym ośrodkiem drenażu antropogenicznego jest dolina Nidy i pobliska odkrywka gipsu „Leszcze” (rys. 1, 3).

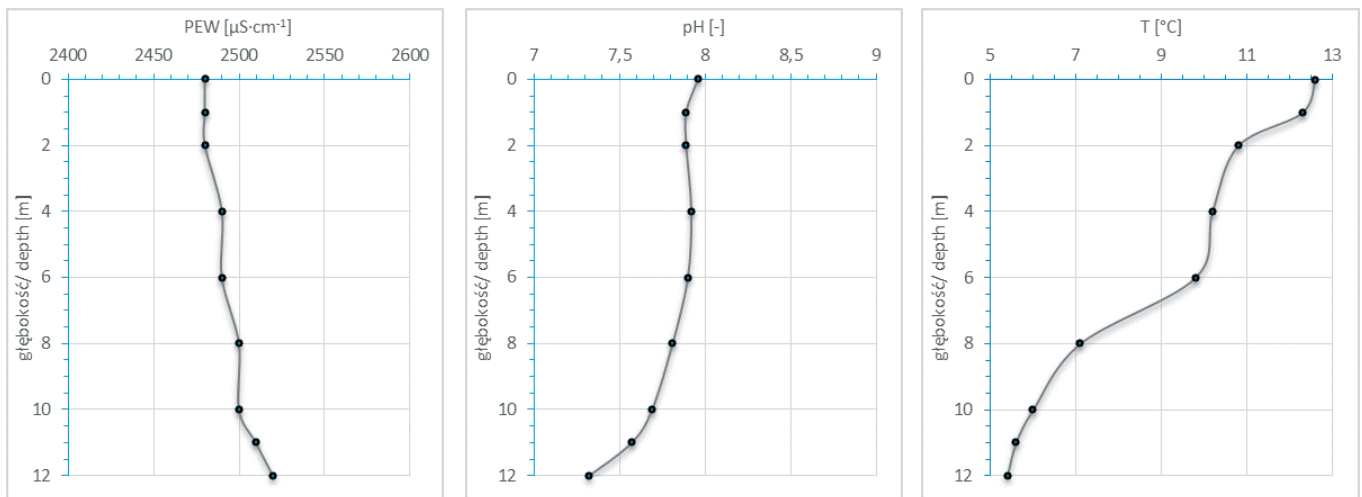
## METODYKA BADAŃ

W dniu 25.04.2008 r. przy pomocy pompy opuszczanej na przewodzie giętkim i zasilanej z akumulatora pobrano próbki wody w profilu pionowym akwenu (rys. 1) na głębokościach: 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 11 i 12 m. W terenie zmierzono przewodność elektrolityczną właściwą (PEW) oraz odczyn pH przy pomocy odpowiednich mierników. W laboratorium Katedry Hydrogeologii i Geologii inżynierskiej AGH w Krakowie oznaczano alkaliczność metodą wolumentryczną przy użyciu wskaźnika

mieszanego. Przy pH do 8,6 alkaliczność jest praktycznie tożsama ze stężeniem jonu wodorowęglanowego ( $\text{HCO}_3^-$ ). Ponadto oznaczano stężenie jonu chlorkowego (Cl) metodą argentometryczną. Przy użyciu spektrometru emisyjnego z plazmą wzbudzaną indukcyjnie ICP AES Plasma 40 oznaczono zawartości siarki ogólnej (S), wapnia (Ca), magnezu (Mg), sodu (Na), potasu (K), żelaza (Fe), strontu (Sr) oraz krzemionki koloidalnej ( $\text{SiO}_2$ ). Zawartość siarki ogólnej przeliczano na stężenie siarczanów. Pozostałe mikrośladniki oznaczano przy użyciu spektrometru masowego ICP MS, również firmy Perkin-Elmer. Błędy analiz obliczono jako różnicę sumy milivali kationów i sumy milivali anionów podzieloną przez łączną sumę milivali kationów i anionów.

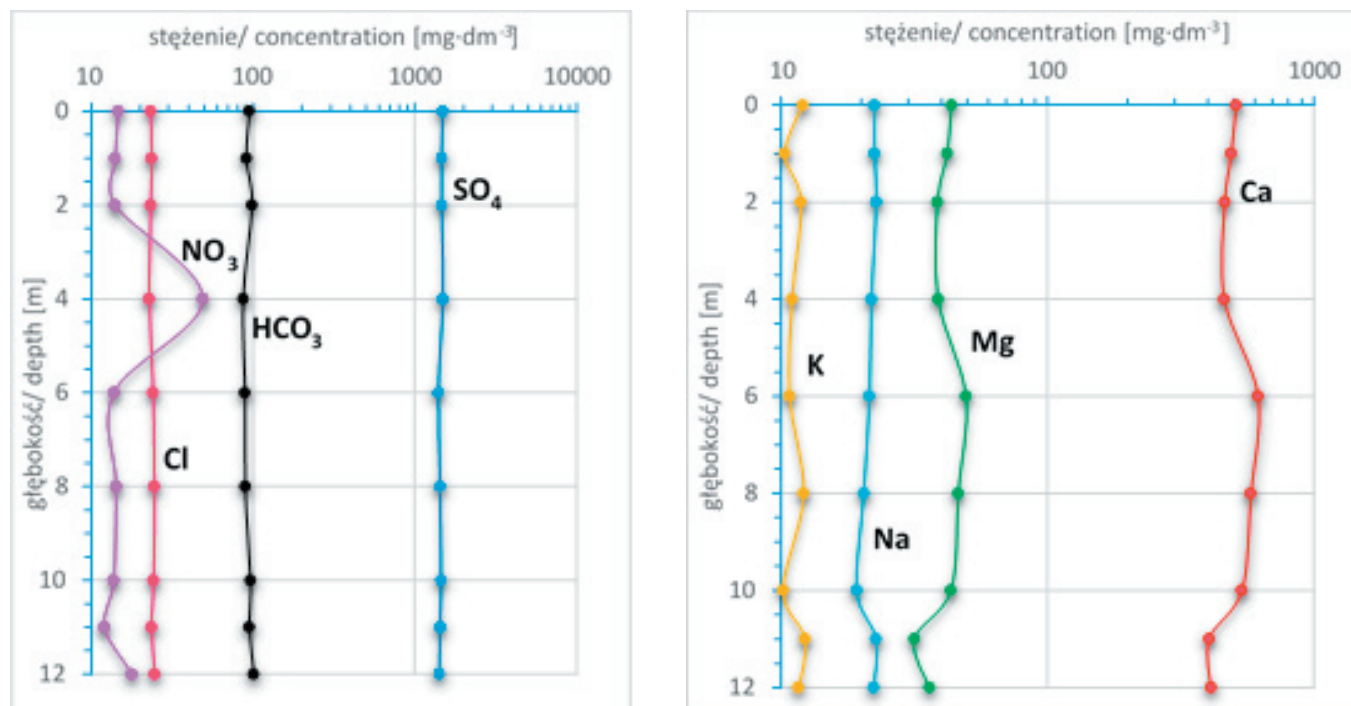
## WYNIKI BADAŃ

Zagadnienie jakości wód podziemnych w serii gipsowej w rejonie obszaru dawnej kopalni gipsów „Gacki” zostało opisane w opinii hydrogeologicznej Krakowiaka i Słowiak [5], dotyczącej odkrywek „Gacki – Krzyżanowice – Leszcze”. Cytowani autorzy podają wyniki wskaźnikowej analizy wody ze źródła wypływającego z serii gipsowej. Woda z tego źródła zawierała w lutym 1976 roku  $1290 \text{ mg/dm}^3$  siarczanów,  $20 \text{ mg/dm}^3$  chlorków,  $595 \text{ mg/dm}^3$  wapnia oraz  $21 \text{ mg/dm}^3$  magnezu. Była to zatem woda typu  $\text{Ca-SO}_4$  typowa dla wód podziemnych, występujących w środowisku gipsów.



Rys. 4. Zmienność podstawowych parametrów fizycznych wody w profilu zbiornika „Gacki”

Fig. 4. Variability of basic physical parameters of water in the “Gacki” reservoir profile



Rys. 5. Zmienność głównych anionów i kationów wody w profilu zbiornika „Gacki”  
Fig. 5. Variability of main anions and water cations in the “Gacki” reservoir profile

PEW wody w zbiorniku „Gacki” jest stosunkowo bardzo wysoka. Warstwa płytkiej wody (od 0 - 6 m) charakteryzuje się zakresem PEW od  $2,48 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  do  $2,49 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Głębsza warstwa (6 - 12 m) zaznacza się wartościami od  $2,50$  do  $2,52 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Maksymalna wartość PEW ( $2,52 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) została zmierzona, w strefie blisko dna kamieniołomu, na głębokości 12 m. Minimalna wartość ( $2,48 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) wystąpiła na powierzchni akwenu.

Widoczna jest słaba tendencja wzrostu zwiększania się PEW wraz z głębokością (rys. 4, tab. 1).

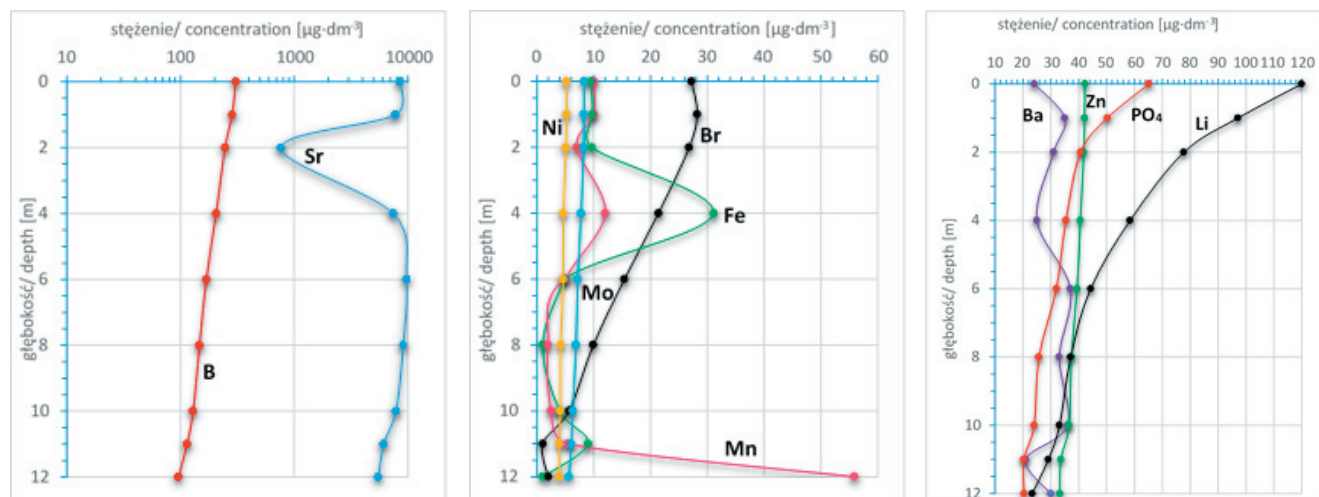
Temperatura wody w zbiorniku charakteryzuje się stopniowym spadkiem wraz z głębokością. Warstwa płytkiej wody (od 0 - 6 m) charakteryzuje się zakresem od  $9,8^\circ\text{C}$  do  $12,6^\circ\text{C}$ . Głębsza warstwa (6 - 12 m) zaznacza się wartościami od  $5,4^\circ\text{C}$  do  $7,1^\circ\text{C}$  (rys. 4). Maksymalną wartość temperatury wody ( $12,6^\circ\text{C}$ ) stwierdzono na powierzchni zbiornika, a minimalną ( $5,4^\circ\text{C}$ ) na głębokości 12 m (rys. 4, tab. 1).

Odczyn wody w warstwie płytkiej (od 0 - 6 m) charaktery-

zuje się zakresem od 7,96 do 7,9. Głębsza warstwa (6 - 12 m) zaznacza się wartościami od 7,81 do 7,32. Maksymalna wartość pH wody (7,96) została stwierdzona na powierzchni zbiornika. Minimalna wartość pH (7,32) była na głębokości 12 m (rys. 4, tab. 1).

Stężenia  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  w profilu zbiornika „Gacki” cechują się dużą stabilnością i brak jest widocznych odchyłeń, wyjątkiem wzrostu  $\text{NO}_3^-$  na głębokości 4 m (rys. 5, tab. 1). Aniony mają stężenia [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]:  $\text{HCO}_3^-$  (100,8 - 86,7),  $\text{Cl}^-$  (24,7 - 22,8),  $\text{SO}_4^{2-}$  (1486,2 - 1396,6) oraz  $\text{NO}_3^-$  (48,9 - 12,1). Podobny obraz zmian stężenia w profilu pionowym zbiornika obserwuje się dla głównych kationów: Ca, Mg, Na, K (rys. 5, tab. 1). Mają one stężenia [ $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]: Ca (580,1 - 489,8), Mg (49,4 - 31,7), Na (22,8 - 19,3) oraz K (12,3 - 10,2).

Mikroskładniki mają stężenia [ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]: Fe (12 - 1), Ba (37 - 21), Mn (55,9 - 1,93), Sr (9729 - 766), Zn (42,3 - 33,3), Li (120 - 23,3), Ni (5,21 - 3,91), Mo (8,32 - 5,61), Br (28,2 - 1), B (307 - 96) oraz P (65,2 - 20,3).



Rys. 6. Zmienność wybranych mikroskładników w wodzie w zbiorniku „Gacki”  
Fig. 6. Variability of selected micronutrients in water in the “Gacki” reservoir



Tab. 1. Stężenie głównych składników fizykochemicznych wody w profilu zbiornika „Gacki”

Tab. 1. The content of the main physicochemical components of water in the profile of “Gacki” reservoir

Parametr/ Parameter		Głębokość/ Depth [m]								
		0	1	2	4	6	8	10	11	12
PEW	[ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	2480	2480	2480	2490	2490	2500	2500	2510	2520
pH	[-]	8	7,9	7,9	7,9	7,9	7,8	7,7	7,6	7,3
T	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	12,6	12,3	10,8	10,2	9,8	7,1	6	5,6	5,4
TDS	[ $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	2,213	2,164	2,181	2,244	2,187	2,225	2,207	2,137	2,13
Ca	mg·dm <sup>-3</sup>	511,7	489,8	500	520	570	580,1	536,96	504,7	499
Mg		43,63	42,07	38,69	38,88	49,44	46,21	43,44	31,67	36,12
K		12,05	10,33	11,87	11,01	10,76	12,16	10,2	12,3	11,64
Na		22,4	22,44	22,77	21,84	21,48	20,45	19,25	22,75	22,23
HCO <sub>3</sub>		94,9	90,8	98,4	86,7	89	89,3	96,1	94,9	100,8
Cl		23,3	23,57	23,29	22,77	24,11	24,52	24,25	23,57	24,65
NO <sub>3</sub>		14,66	14,05	14,05	48,9	13,79	14,25	13,73	12,05	17,85
SO <sub>4</sub>		1479,55	1441,85	1462,85	1486,2	1396,6	1427,5	1453,35	1428,4	1411,5

Tab. 2. Zawartość wybranych mikroelementów fizykochemicznych wody w profilu zbiornika „Gacki”

Tab. 2. The content of selected microelements in water in the profile of the “Gacki” reservoir

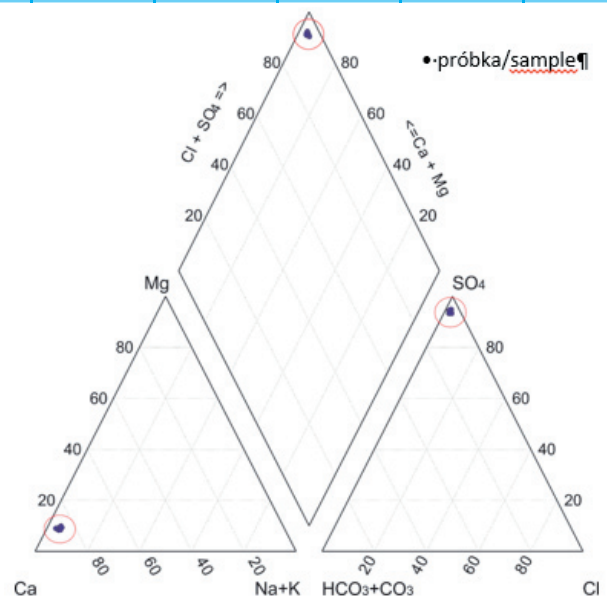
Parametr/ Parameter		Głębokość/ Depth [m]								
		0	1	2	4	6	8	10	11	12
Fe	[ $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ]	10	10	7	12	5	<1	4	9	1
Ba		24	35	31	25	37	33	36	21	30
Mn		9,58	9,81	9,65	31,1	4,86	1,93	2,48	5,39	55,9
Sr		8525	7751	7660	7422	9729	9096	7847	6127	5496
Zn		42,3	42,1	41,8	40,6	39,4	37,4	36,5	33,6	33,3
Li		120	97,1	77,7	58,4	44,3	37,1	33,1	29,1	23,3
Ni		5,17	5,21	5,08	4,63	4,59	4,17	4,1	3,94	3,91
Mo		8,32	8,23	8,18	7,74	7,14	6,86	6,29	6,02	5,61
Br		27,2	28,2	26,8	21,4	15,4	9,92	5,64	1	<2
B		307	285	247	206	169	147	129	114	96
P		65,2	50,3	40,7	35,4	32	25,7	24	20,3	20,4

W przypadku Fe, Mn oraz B wyraźnie widoczny jest wzrost stężenia na głębokości 4 m. Kolejno dla Ba oraz Sr zanotowano spadki stężeń na głębokości 2 m. Lit, fosfor, bor oraz brom cechują się wyraźnym spadkiem stężenia wraz z głębokością. Cynk wykazuje dużą stabilność stężenia w całym badanym profilu akwenu.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Skład chemiczny wody w badanym profilu akwenu w byłej odkrywce gipsu „Gacki” wykazuje niewielką zmienność, o czym świadczy zakres stabilny PEW i odczynu pH. Mineralizacja ogólna, która się mieści w przedziale od 2,13 do 2,24 g/dm<sup>3</sup> oraz typ hydrochemiczny wody Ca-SO<sub>4</sub> wskazują, że jej chemizm w pierwszym rzędzie wynika z rozpuszczalności gipsów, które były w przeszłości eksploatowane w odkrywce. Stosunki molarne strontu do wapnia, mierzone wskaźnikiem mSr/mCa×1000 (‰), mieszczące się w przedziale od 6,11 do 7,62‰, dodatkowo potwierdzają pochodzenie wody w akwenu z rozpuszczania ewaporatów [4].

Stabilność chemizmu wody w profilu akwenu wynika



Rys. 7. Diagram Piper'a wody w zbiorniku „Gacki”

Fig. 7. Piper diagram of the water from the “Gacki” reservoir

prawdopodobnie stąd, że próbki wody zostały pobrane po 23 latach od początku zatapiania odkrywki. Po tak długim czasie jakaś ewentualna pierwotna zmienność chemizmu w profilu pionowym akwenu już się zatarła. W okolicy odkrywki nie zidentyfikowano też żadnych ognisk zanieczyszczeń, które mogłyby mieć wpływ na chemizm zgromadzonej w niej wodzie. Przyczyną podwyższonych stężeń azotanów, rzędu kilkunastu  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , a na głębokości 4 m prawie  $50 \text{ mg}/\text{dm}^3$  (tab. 1) jest prawdopodobnie rozkład materii organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego [8].

Prawie wszystkie mikroelementy wykazują zmniejszenie się stężenia z głębokością w badanym profilu zatopionej odkrywki „Gacki” (tab. 2). Jedynie w przypadku manganu, którego stężenie początkowo maleje z głębokością, ale tuż przy dnie wzrasta z wartości rzędu kilku  $\mu\text{g}/\text{dm}^3$  do  $56 \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (tab. 2). Na podstawie danych, zebranych w czasie sondowania w kwietniu 2008 roku nie można określić przyczyny takiej zmienności omawianych mikroelementów. Być może wraz z głębokością zmniejsza się potencjał oksydacyjno-redukcyjny Eh, ale wyjaśnienie tej kwestii wymagałoby dodatkowych badań, w tym także monitoringowych i być może także mikrobiologicznych.

## PODSUMOWANIE

Złoże gipsu „Gacki” w dolinie Nidy było eksploatowane w latach 1955-1985 w trzech odkrywkach różnej wielkości. Po zaprzestaniu eksploatacji odkrywki zostały zrehabilitowane w kierunku wodnym i w rezultacie utworzyły się trzy zbiorniki pogórnice o powierzchniach od 0,8 do 19,88 ha. W kwietniu 2008 roku w największym zbiorniku wykonano badania składu chemicznego wody w profilu pionowym. Próbki wody pobrano na 9 głębokościach akwenu. Temperatura wody wyraźnie malała wraz z głębokością od  $12,6^\circ\text{C}$  na powierzchni do  $5,4^\circ\text{C}$  na głębokości 12 m, tj. w pobliżu dna zbiornika. Na skład chemiczny wody wpływa przede wszystkim rodzaj skał otaczających, tzn. gipsów, których rozpuszczalność determinuje także mineralizację ogólną, mieszczącą się w przedziale od 2,1 do 2,2 g/l i typ hydrochemiczny wody  $\text{Ca-SO}_4$ . Stężenie głównych składników w profilu pionowym akwenu jest prawie stałe. Spośród badanych mikroelementów tylko lit i brom wykazały wyraźną tendencję zmniejszania się stężenia z głębokością. Niewielki wpływ na skład chemiczny wody w akwenu ma rozkład materii organicznej pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, co objawia się podwyższonym stężeniem azotanów.

*Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej - umowa: 11.11.140.797*

## Literatura

- [1] Bąbel M., *Facies and depositional environments of the Nida Gypsum deposits (Middle Miocene, Carpathian Foredeep, Southern Poland)*. Kwartalnik Geologiczny, 1999, 43, 4: 405-418. ISSN, 0023-5873
- [2] Czop M., Motyka J., Sracek O., Szuwarzyński M., *Geochemistry of the Hyperalkaline Górka Pit Lake (pH > 13) in the Chrzanow Region, Southern Poland*. Water Air Soil Pollution, 2011, 214: 423-434. ISSN: 0049-6979
- [3] Geller W., Schultze M., Kleinman R., Wolkersdorfer C. (eds.), *Acidic Pit Lakes*, Springer, 2013, 525s. ISBN 978-3-642-29384-9
- [4] Hsissou Y., Chauve P., Mania J., Mangin A., Bakalowicz M., & Gaiz A., *Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$* , Journal of Hydrology, 1996, 183(3-4), 445-451. ISSN, 0022-1694
- [5] Krakowiak R., Słowiok Z., *Opinia hydrogeologiczna w sprawie określenia wpływu eksploatacji kopaliny na stosunki wodne. Obiekt: „Gacki – Krzyżanowice – Leszcze”*, 1976 ZUT NOT Kielce (opracowanie niepublikowane).
- [6] Motyka J., Czop M., *Water Quality Changes in the Abandoned Zakrzówek Limestone Quarry near Cracow (Poland)*. Polish Journal of Environmental Studies, 2004, Vol. 13, Suppl. III: 187-191. ISSN: 1230-1485
- [7] Nicpoń W., *Dodatek Nr 2 do dokumentacji geologicznej w kategorii C1 złoże gipsów „Leszcze”, dotyczący rozpoznania warunków hydrogeologicznych złoże*. 1991, Przedsiębiorstwo Geologiczne w Kielcach
- [8] Witczak S., Kania J., Kmiecik E., *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania*, 2013, IOŚ, Warszawa. ISBN 978-83-61227-13-7
- [9] Żurek R., *Lakes in Large Scale Open-Pits in Poland*, in: Geller W., Schultze M., Kleinmann R., Wolkersdorfer Ch., *Acidic Pit Lakes. The Legacy of Coal and Metal Surface Mines*. 2013, Springer, 291-315. ISBN 978-3-642-29384-9